



Investigating energy consumption and economic indicators of rose production using machine learning: A case study of Damghan County

Seyed omid Davodalmosavi¹  Farzana Bahadri²  Shahin Rafiee³ 

1. Department of Biosystems Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran. And member of the elite of the Agricultural Research and Education Center of Semnan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Semnan, Iran seo.davodalmosavy@ut.ac.ir
2. Corresponding author. Associate Professor, Agricultural Research and Education Center, Semnan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Semnan, Iran farbahadori@gmail.com
3. Department of Biosystems Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran shahinrafiee@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Apr. 23, 2025

Revised: Aug. 5, 2025

Accepted: Aug. 16, 2025

Published online: Summer 2025

Keywords:

*Medicinal plants,
SHAP analysis,
Energy management,
Economic efficiency*

ABSTRACT

This study aimed to analyze the energy and economic aspects of rose production in Damghan County and model the optimal use of inputs using machine learning algorithms. The required data were collected through questionnaires and interviews. The results showed that the total energy consumed in rose production was 43,438 megajoules per hectare, with electricity accounting for 79.6 percent of the energy consumption. The energy efficiency index was 0.02 kg/megajoule, which indicates a significant energy loss in the production system. On the other hand, the economic analysis indicated a net profit of 44.395 million tomans per hectare and a benefit-to-cost ratio of 2.07, which indicates the appropriate economic justification for rose production despite high energy consumption. Gradient Booster (GBR), Enhanced Gradient Booster (XGBR), and Random Forest (RFR) algorithms were used to model and predict energy consumption and costs. The results showed that the GBR model with a coefficient of determination (R^2) of 0.99 and a minimum error of 251.97 has the best performance in predicting energy and costs. Also, sensitivity analysis using the SHAP method revealed that animal manure and electricity have the greatest impact on energy consumption, while water management and chemical fertilizers play a key role in economic profitability. The results showed that optimizing energy consumption in rose production is possible by reducing electricity and fertilizer consumption, and the use of machine learning is also suggested as an efficient tool in predicting and managing agricultural inputs.

Cite this article: Davodalmosavi, Seyed Omid; Bahadori, Farzaneh and Rafiei, Shahin. (2025). Investigating energy consumption and economic indicators of rose production using machine learning: A case study of Damghan County, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 56 (2), 13-30. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.393681.665595>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.393681.665595>





EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Medicinal plants, especially rose (*Rosa damascena*), play an important role in the agricultural economy of Iran due to their extensive applications in the perfumery, food, and pharmaceutical industries. With the increasing global demand for plant products, it is essential to optimize energy consumption and analyze the economic aspects of the production of these plants. Previous studies have shown that agricultural production systems are often faced with high energy waste and costs, but few studies have addressed the modeling of these parameters with modern tools such as machine learning. This study aimed to analyze the energy and economic aspects of rose production in Damghan County and provide predictive models based on machine learning algorithms.

Research Method

In this study, energy modeling and economic analysis of rose production in Damghan County was conducted using machine learning algorithms. The energy consumption pattern and economic and cost analysis of rose production were examined. Information was collected through a specialized questionnaire and interview, and simple random sampling was used to determine the sample size. Three algorithms were used for modeling: gradient boosting regression (GBR), enhanced gradient boosting regression (XGBR), and random forest regression (RFR).

Results

The total energy consumption in production was 43438.83 megajoules per hectare. Electrical energy and nitrogen fertilizer accounted for the largest share of energy consumption, accounting for about 79.60 and 9.92 percent of the total energy consumption, respectively. The energy ratio, energy efficiency, energy intensity, and net energy added were 0.08, 0.021 kg/MJ, 47.20 MJ/kg, and net energy was -39574 megajoule, respectively. The results of economic analysis showed that the total production costs of rose are 44.395 million tomans per hectare. Animal fertilizer, with a share of 33.15 percent, and human labor, with a share of 29.47 percent of the total costs, accounted for the largest share of the production costs. For energy, GBR, XGBR, and RFR were the best models with R^2 values of 0.99, 0.97, and 0.92, respectively, and for the economic production model, GBR, XGBR, and RFR were the best models with R^2 values of 0.99, 0.96, and 0.88.

Conclusions

This study shows that rose production in the study area is economically profitable and justifiable, although energy consumption pattern analysis indicates significant energy waste in rose production. The application of machine learning methods in this study demonstrated the high ability of this technology to predict and optimize resource consumption. The results showed that intelligent management of key inputs such as water resources, irrigation systems, and fertilizers can help reduce energy consumption, reduce costs, and increase profits. These findings emphasize the need to apply advanced technical solutions and adopt modern and mechanized management methods to achieve sustainable and efficient rose production, in a way that maintains economic justification while optimizing resource consumption.

Author Contributions

The idea and design of this study were carried out by Farzane Bahadori and Seyed Omid Davodalmousavi. The identification method, software and validation were carried out by Shahin Rafiee and the research and data and resource collection and writing of the first draft were carried out by Seyed Omid Davodalmousavi. The project management was carried out by Farzane Bahadori and Seyed Omid Davodalmousavi. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Access

All data generated or analyzed during this study are available upon request from the corresponding author.

Acknowledgements

This study was carried out by the Forest and Rangeland Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Semnan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Semnan, Iran, to whom we are grateful. The authors would like to thank all the participants in the present study.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism and misconduct.

Conflict of Interest

The author declares no conflicts of interest.

تحلیل انرژی و اقتصادی تولید گل محمدی با بهره‌گیری از یادگیری ماشین: مطالعه موردی شهرستان دامغان

سید امید داودالموسوی^۱، فرزانه بهادری^۲✉، شاهین رفیعی^۳

۱. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران. و مشمول نخبه مرکز تحقیقات کشاورزی و آموزش

کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران. seo.davodalmosavy@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول. مرکز تحقیقات کشاورزی و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

سمنان، ایران. farbahadori@gmail.com

۳. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران. shahinrafiee@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	این مطالعه باهدف تحلیل انرژی و اقتصادی تولید گل محمدی در شهرستان دامغان و مدل‌سازی مصرف بهینه نهاده‌ها با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین انجام شد. داده‌های موردنیاز از طریق پرسش‌نامه و مصاحبه جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که کل انرژی مصرفی در تولید گل محمدی ۴۳۴۳۸ مگاژول بر هکتار است که برق با ۷۹/۶ درصد بیشترین سهم را در مصرف انرژی داشتند. شاخص بهره‌وری انرژی ۰/۰۲ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمد که نشان‌دهنده اتلاف انرژی قابل توجه در نظام تولیدی است. از سوی دیگر، تحلیل اقتصادی حاکی از سود خالص ۴۴/۳۹۵ میلیون تومان در هکتار و نسبت فایده به هزینه ۲/۰۷ بود که بیانگر توجیه اقتصادی مناسب تولید گل محمدی علی‌رغم مصرف انرژی بالا است. برای مدل‌سازی و پیش‌بینی مصرف انرژی و هزینه‌ها، از الگوریتم‌های تقویت‌کننده گرادیان (GBR)، تقویت‌کننده گرادیان پیشرفته (XGBR) و جنگل تصادفی (RFR) استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل GBR با ضریب تبیین ۹۹/۰ (R ²) و خطای حداقل برابر با ۲۵۱/۹۷ بهترین عملکرد را در پیش‌بینی انرژی و هزینه‌ها دارد. همچنین، تحلیل حساسیت با روش SHAP مشخص کرد که کود حیوانی و برق بیشترین تأثیر را بر مصرف انرژی دارند، درحالی‌که مدیریت آب و کودهای شیمیایی نقش کلیدی در سودآوری اقتصادی ایفا می‌کنند. نتایج نشان داد که بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید گل محمدی از طریق کاهش مصرف برق و کودها امکان‌پذیر است و استفاده از یادگیری ماشین نیز به‌عنوان یک ابزار کارآمد در پیش‌بینی و مدیریت نهاده‌های کشاورزی پیشنهاد می‌شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۳	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۵/۱۴	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۲۵	
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۴	
واژه‌های کلیدی: گیاهان دارویی، تحلیل SHAP، مدیریت انرژی، بهره‌وری اقتصادی.	

استناد: داودالموسوی، سید امید؛ بهادری، فرزانه و رفیعی، شاهین. (۱۴۰۴). تحلیل انرژی و اقتصادی تولید گل محمدی با بهره‌گیری از یادگیری ماشین: مطالعه موردی

شهرستان دامغان، مجله مهندسی بیوسیستم ایران/ایران، ۵۶ (۲)، ۳۰-۱۳. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.393681.665595>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.393681.665595>

مقدمه

امروزه استفاده از گیاهان دارویی رشد چشمگیری داشته و به عنوان منبع تأمین مواد اولیه در طب مدرن نیز شناخته می شود (Salmerón-Manzano, Garrido-Cardenas, & Manzano-Agugliaro, 2020). رشد روزافزون مصرف گیاهان دارویی در دنیا و کاربرد آن در حوزه های پزشکی، تغذیه و سلامت منجر به تولید و فراوری هر چه بیشتر این محصولات در دنیا شده است (Rahimi, Chakespari, Abaszadeh, & Araghi, 2020). طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی، امروزه بیش از ۸۰ درصد از مردم جهان، برای درمان بیماری ها از داروهای گیاهی استفاده می کنند (خوشخوی و همکاران، ۱۴۰۰). بررسی آمارنامه وزارت کشاورزی نشانگر افزایش سطح زیر کشت گیاهان دارویی در سال های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۱ بوده است. سطح زیر کشت گیاهان دارویی در کشور در سال ۱۳۹۲ برابر با ۴۱۶۰۵ هکتار (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۲) و سطح زیر کشت گیاهان دارویی در سال ۱۴۰۱ بیش از ۲۰۰ هزار هکتار رسیده است. میزان تولید گل محمدی در استان سمنان برابر با ۴۷۲ تن و در کل کشور ۳۸۶۸۳ تن بوده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۱).

خوشبختانه با روی آوردن دنیا به ویژه کشورهای پیشرفته به استفاده از فرآورده های گیاهی و استفاده روزافزون آن در جهان در صنعت داروسازی و همچنین در صنایع غذایی و آرایشی - بهداشتی و باتوجه به تنوع آب و هوایی کشور و امکان رویش اکثر گیاهان در آن فرصتی مناسبی است تا از آن به بهترین نحو ممکن استفاده نموده و حضور کشور را در بازارهای جهانی بیش از پیش افزایش داد (کشفی بناب، ۱۳۸۹). گیاهان دارویی ظرفیت صادراتی زیادی دارند، اما به دلیل آماده نبودن بسترهای مناسب و عدم استفاده از روش های موفق تجاری، سهمی کمتر از دو درصد، از تجارت جهانی گیاهان دارویی به ایران اختصاص دارد (یاوری و همکاران، ۱۴۰۰). جایگزینی گیاهان دارویی در الگوی کشت به ویژه در مناطق مواجه با کمبود آب کشاورزی و در شرایط خشک سالی بسیار مهم است. یکی از گیاهان دارویی داری اهمیت گل محمدی است. گل محمدی با نام علمی *Rosa damascene* و از خانواده رزاسه در مناطق مختلف ایران و جهان کشت می شود. اسانس و گلاب استخراج شده از گل محمدی در صنایع عطرسازی، آرایشی و غذایی مصرف گسترده ای دارد (ملک و همکاران، ۱۴۰۰).

در نظام های مختلف تولید کشاورزی افزایش بازده تولید فقط با مصرف مقادیر قابل توجهی از انرژی در ارتباط است که به وسیله انسان در عملیات خاک ورزی، کاشت، داشت، برداشت و غیره مصرف می شود (حسینی و توکلی دینانی، ۱۳۸۹). از منابع مختلفی برای تأمین انرژی مورد نیاز انجام کارهای کشاورزی استفاده و بهره برداری می شود. اساس تحلیل انرژی در کشاورزی از ارزیابی جریان های مختلف انرژی دخیل در تولید محصولات کشاورزی تشکیل شده است. بهره گیری مفید از انرژی در بخش کشاورزی نقش اساسی در بهینه سازی اقتصادی سیستم، پایداری تولیدات، حفظ و نگهداری منابع و ذخایر سوخت های فسیلی و کاستن آلودگی هوا دارد (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۸۶). علاوه بر وابستگی تولید بیشتر به مصرف انرژی زیاده تر، چگونگی رابطه میان افزایش تولیدات و افزایش مصرف انرژی و نیز هدایت مصرف های بعدی در مسیرهای متناسب و معقول اهمیت خاصی دارد. هر ساله اثرات منفی اقتصادی ناشی از مصرف زیاد انرژی در این بخش گسترش می یابد و این در شرایطی است که برای انرژی های مصرفی یارانه نیز پرداخت می شود. برای بهینه سازی مصرف انرژی و کاهش مصرف آن در بخش کشاورزی باید راهکارها و روش های مختلفی از جمله مدیریت مناسب و صحیح در استفاده از انرژی های فسیلی و نهاده ها و به کارگیری انرژی های پاک و نو مدنظر قرار گیرد.

تا کنون مطالعاتی زیادی در مورد بررسی انرژی و تحلیل اقتصادی محصولات کشاورزی انجام شده است. برای نمونه رحیمی و همکاران پژوهشی را در مناطقی از استان های تهران و البرز بر روی چهار گیاه دارویی نعنای فلفلی، ترخون، ریحان و مرزه انجام دادند و نتایج نشان داد که دو نهاده کود شیمیایی و برق با اختلاف بالای ۸۰ درصد بیشترین مصرف انرژی را در بین تمامی نهاده ها مصرفی به خود اختصاص داده اند (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۹). مطالعه ای در هند نشان داد که ۷۶۷۵۴ مگاژول در هکتار برای تولید گل محمدی انرژی مصرف شده است و حدود ۴۱ درصد از کل انرژی مصرفی متعلق به کودها و مواد مغذی بوده است (Sujatha & Tejaswini, 2021). پژوهشی در ترکیه با هدف تحلیل انرژی و هزینه های تولید گل رز انجام شد. نتایج نشان داد که انرژی مصرفی برای تولید ۲۹۳۱۳/۱۲ مگاژول در هکتار و نسبت هزینه به فایده ۱/۵۸ بوده است (Akbolat et al., 2006). در پاکستان مطالعه ای باهدف تحلیل اقتصادی تولید گل محمدی انجام شد در این مطالعه نسبت سود به هزینه ۲/۸۴ به دست آمد (Usman et al, 2014). مطالعه ای در بنگلادش برای تحلیل هزینه های تولید گل رز انجام شد نتایج نشان داد نیروی انسانی بیشترین سهم از کل هزینه ها را شامل شده است (Tiwari et al, 2020). در منطقه ساتارا در هند پژوهشی با هدف ارزیابی اقتصادی کشت گل رز انجام شد. هزینه کشت یک هکتار گل رز در این پژوهش ۲۹۴۷۹۱ روپیه محاسبه شد (Bahirat & Jadhav., 2011). در تحقیقی انرژی ورودی و خروجی تولید گلخانه ای برگ آلوئه ورا در استان

خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفت و اثرات زیست‌محیطی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که انرژی ورودی در تولید این نوع از گیاهان دارویی برابر با ۱۰۲۸۲۵/۱۹ مگاژول برای هر تن برگ آلوئه‌ورا و انرژی خروجی برابر با ۳۳۰ مگاژول برای هر تن برگ آلوئه‌ورا بوده است و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آن نشان داد که احتراق سوخت و مصرف کودهای شیمیایی نقش عمده‌ای در گروه‌های اثر گرمایش جهانی، اسیدی شدن و اختناق دریاچه‌ای داشته‌اند (خانعلی و حسین‌زاده بندبافها، ۱۳۹۶). در مطالعه‌ای انرژی مصرفی برای تولید گل رز ۶۷/۹ گیگاژول و نسبت انرژی ۰/۱۷ محاسبه شد (Pahlavan et al., 2012). خوب بخت و اکرم در مطالعه‌ای در شهرستان خوانسار الگوی مصرف انرژی و عملکرد اقتصادی تولید آلودی بخارا را بررسی کردند. نتایج نشان داد انرژی مصرفی برای تولید آلودی بخارا ۵۶۷۲۱/۱۹ مگاژول در هکتار و میزان برق مصرفی با ۶۶/۲۵ درصد پرمصرف‌ترین نهاده بوده است و نیروی کارگری با ۷۰/۷۵ درصد بیشترین هزینه را داشته و نسبت هزینه به درآمد ۱/۹ محاسبه شده است (khoobbakht & Akram, 2020). پژوهشی در استان خوزستان با بررسی و آنالیز اقتصادی و مصرف انرژی باغات انگور شهرستان کارون نشان داد که انرژی کود شیمیایی نیتروژن با ۲۸/۸۸ درصد بیشترین سهم مصرف انرژی و احداث تاکستان و تولید قلمه با ۰/۷۵ درصد کمترین سهم مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است و درآمد خالص برابر ۱۱۳۷۱۲۹۶۲۰ ریال در هکتار و نسبت فایده _ هزینه ۵/۳۱ بوده است (مرنجزی، ۱۳۹۸).

بررسی منابع نشان می‌دهد که مطالعات نادری در مورد انرژی در گل محمدی انجام شده است. هدف از این مطالعه شناخت الگوهای مصرف انرژی و هزینه تولید در کشت گل محمدی در شهرستان دامغان، محاسبه شاخص‌های انرژی و اقتصادی و مدل‌سازی با بهره‌گیری از یادگیری ماشین و الگوریتم‌های رگرسیون تقویت‌کننده گرادیان (GBR)، تقویت‌کننده گرادیان پیشرفته (XGBR) و روش جنگل تصادفی (RFR) است. این مطالعه تأثیرگذارترین نهادها را در مصرف انرژی و هزینه تولید شناسایی کرده و به تصمیم‌گیرندگان و کشاورزان کمک می‌کند تا با مدیریت و کنترل نهاده‌ها مصرف انرژی را کاهش و سود اقتصادی را افزایش دهند.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری اطلاعات و پردازش داده‌ها

استان سمنان به دلیل واقع شدن در دامنه جنوبی سلسله جبال البرز و تأثیر جبهه‌های آب‌وهوایی استان‌های شمالی گلستان و مازندران از تنوع اقلیمی زیادی برخوردار است و تأثیر آن بر تنوع پوشش گیاهی و فراوانی گیاهان دارویی در شهرستان‌های مختلف به چشم می‌خورد. سه هزار گونه گیاهی در استان سمنان شناسایی شده که بیش از یک‌صد گونه این گیاهان از خواص دارویی برخوردار است (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۷). دامغان بین ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه تا ۳۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این شهرستان از شمال به کوه‌های البرز و از جنوب به دشت کویر و از غرب به شهرستان سمنان و از شرق به شهرستان شاهرود محدود است. سطح زیر کشت گل محمدی در ایران برابر است با ۲۱۷۰۰ هکتار برآورد می‌شود.

سطح زیر کشت گل محمدی در استان سمنان ۲۱۷ هکتار و تولید در گل ۴۵۴ تن است. همچنین سطح کشت گل محمدی در منطقه مورد مطالعه حدود ۹۴ هکتار و میزان تولید در سال ۱۴۰۱ در حدود ۱۰۰ تن بوده است (Anonymous, 2022). داده‌های پژوهش حاضر از نواحی روستایی این شهرستان در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ از طریق مصاحبه با کشاورزان و پرسش‌نامه‌های تخصصی و مراجعه به اداره جهاد کشاورزی شهرستان دامغان و همچنین از طریق مراجعه به سایت وزارت جهاد کشاورزی جمع‌آوری شد. اندازه نمونه از طریق رابطه آماری کوکران^(۱) محاسبه شد (Amirahmadi et al, 2022).

$$n = \frac{Nt^2S^2}{Nd^2 + t^2S^2} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن N، اندازه جامعه آماری یا تعداد کشاورزان منطقه مورد مطالعه، t ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت موردنظر از جدول t-استیودنت به دست می‌آید. S² برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه، d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n حجم نمونه است. بر طبق این رابطه اندازه نمونه برای این تحقیق ۵۸ (گل محمدی کار) به دست آمد. که برای

1. Gradient Boosting Regression
2. Extreme Gradient Boosting
3. Random Forest Regression
4. Cochran



اطمینان بیشتر تعداد ۶۰ پرسش‌نامه تهیه و به‌طور کاملاً تصادفی در منطقه مطالعاتی پُر شد.

محاسبات انرژی مصرفی نهاده‌ها و شاخص‌های انرژی

در این مطالعه، فرایند تولید محصول گل محمدی در شهرستان دامغان در یک سال زراعی بررسی شده است. برای بررسی الگوهای مصرف انرژی در مزارع خروجی‌ها و ورودی‌ها به معادل‌های انرژی خود تبدیل می‌شوند (Imran & Ozcatalbas, 2021). نهاده‌هایی شامل نیروی انسانی، برق، سموم شیمیایی و کودهای شیمیایی و حیوانی به‌عنوان ورودی‌ها به‌منظور محاسبه مقدار انرژی مصرفی تعیین شدند و محصول نهایی گل محمدی، به‌عنوان خروجی در این پژوهش در نظر گرفته شد. ضرایب انرژی مربوط به هریک از نهاده‌های ورودی در جدول (۱) آمده است. برای محاسبه انرژی مصرفی نهاده‌های ورودی با ضرب مقدار مصرف‌شده نهاده در واحد سطح در ضریب انرژی مربوطه به‌دست آمده است.

جدول ۱. نهاده‌های ورودی و هم‌ارز انرژی آن‌ها

عنوان	ضرایب انرژی (MJ/unit)	واحد	مرجع
الف) نهاده‌ها			
نیروی انسانی	۱/۹۶	h	(Rafiee et al., 2010)
برق	۱۱/۹۳	KW.h	(Khoshnevisan et al., 2013)
سموم شیمیایی			
حشره‌کش	۱۹۹	kg	(Elhami et al., 2021)
علف‌کش	۲۳۸	kg	(Elhami et al., 2021)
کود شیمیایی			
نیتروژن	۶۶/۱۴	kg	(Rafiee et al., 2010)
فسفات	۱۲/۴۴	kg	(Rafiee et al., 2010)
پتاس	۶/۷	kg	(Rafiee et al., 2010)
کود حیوانی	۰/۳	kg	(Rafiee et al., 2010)
ب) ستانده‌ها			
گل محمدی	۱۴/۷	kg	Mirzaei, Parashkoochi, (2023)(Zamani, & Afshari, 2023)

در این مطالعه با توجه به مقادیر انرژی‌های ورودی و خروجی به‌دست‌آمده از طریق ضرایب انرژی و روابط ذکر شده شاخص‌های انرژی شامل نسبت انرژی^۱ (ER) که بیانگر نسبت انرژی محصول خروجی و کل انرژی مصرفی در ورودی تولید است. بهره‌وری انرژی^۲ (EP) نشان‌دهنده مقدار تولید محصول به‌ازای هر واحد مصرف انرژی است، شدت انرژی^۳ (EI) نشان‌دهنده مصرف انرژی برای تولید یک واحد از محصول است. افزوده خالص انرژی یا انرژی خالص^۴ (NEG) تفاضل بین انرژی ناخالص تولیدشده و کل انرژی موردنیاز برای تولید است. شاخص‌های یاد شده به ترتیب با استفاده از روابط (۳) تا (۶) محاسبه شدند (Pourmehdi & Kheiralipour., 2024).

$$ER = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$EP = \frac{Y}{E_{in}} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$SE = \frac{E_{in}}{Y} \quad \text{رابطه ۵}$$

1 Energy Ratio
2 Energy Productivity
3 Energy intensity
4 Net Energy

$$NEG = E_{out} - E_{in} \quad \text{رابطه ۶}$$

که در آن، E_{out} انرژی خروج (MJ/ha)، E_{in} انرژی ورودی (MJ/ha) و Y عملکرد محصول (kg/ha) است.

اشکال انرژی

هرآنچه از انرژی در تولید محصولات مصرف می‌شود شامل انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم هستند. این انرژی‌ها می‌توانند تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر باشند. تمام انرژی‌هایی که طی عملیات کاشت، داشت و برداشت به گونه‌ای به طور مستقیم در تولید محصول مصرف می‌شود را انرژی مستقیم می‌گویند و انرژی غیرمستقیم شامل انرژی مصرفی در مراحل ساخت و تولید مواد و نهاده‌ها مورداستفاده در کشاورزی است. انرژی‌های تجدیدپذیر به انرژی‌هایی گفته می‌شود قابلیت برگشت مجدد را به طبیعت دارند؛ اما انرژی‌های تجدیدناپذیر این ویژگی را ندارند (Heydari Sultanabadi., 2023). انرژی غیرمستقیم شامل انرژی لازم برای تولید کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و آفت‌کش‌ها است. انرژی مستقیم نیز شامل انرژی برق و نیروی انسانی است. از انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌توان به انرژی برای تولید کودها و نهاده‌ها اشاره کرد و از انرژی تجدیدپذیر می‌توان انرژی نیروی انسانی را نام برد (Fabiani et al., 2020).

محاسبه شاخص‌های اقتصادی

برای محاسبه هزینه تولید هر واحد تولیدی باید قیمت نهاده‌های مصرفی را به دست آورد که در تولید آن به کاررفته است. در مورد نهاده‌های مثل سموم، کود، نیروی انسانی و غیره، هزینه‌ها را می‌توان برحسب ریال به دست آورد.

در تحقیق حاضر پرسش‌نامه‌ها شامل اطلاعاتی در مورد هزینه‌های تولید و میزان درآمد حاصل در یک سال زراعی بود. در کنار پرسش‌های مربوط به میزان مصرف نهاده‌ها، هزینه‌های آنها نیز از کشاورز کسب شده. در نهایت مهم‌ترین شاخص‌های اقتصادی از جمله درآمد خالص، نسبت فایده به هزینه و بهره‌وری اقتصادی به ترتیب با استفاده از روابط (۸) تا (۱۰) محاسبه شدند (Mousavi-Avval, Rafiee, & Mohammadi, 2011).

$$NR = TR - TC \quad \text{رابطه ۱}$$

$$benefit/Cost = \frac{[TR](\$/ha)}{[TC](\$/ha)} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$EP = \frac{[Y](kg/ha)}{[TC](\$/ha)} \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه بالا، NR درآمد خالص، TR هزینه کل، TC درآمد کل، Y عملکرد گل محمدی در هکتار، Benefit-Cost ratio نسبت فایده و EP بهره‌وری اقتصادی است.

مدل‌سازی با الگوریتم یادگیری ماشین

یادگیری ماشین، حوزه‌ای از هوش مصنوعی بوده که دارای کاربردهای متنوعی در علوم است. دانش یادگیری ماشین، علمی هست که با الهام از فرایند یادگیری و تجربه در انسان، به کسب دانش و مهارت‌های جدید می‌پردازد. این کار به دلیل توانمندی‌های رایانه‌ها در پردازش بیشتر، فرایندها با سرعت بالاتری انجام می‌شود (Roscher, Bohn, Duarte, & Garcke, 2020).

روش رگرسیون تقویت‌کننده گرادیان (GBR) را می‌توان برای طبقه‌بندی و پیش‌بینی استفاده کرد. این روش از نوع الگوریتم‌های تقویت‌کننده است که به صورت مستمر وزن هوش مورداستفاده را آموزش داده و تنظیم می‌کند و باعث ایجاد مدل بسیار قوی‌تری می‌شود (داودالموسوی و همکاران، ۱۴۰۲).

روش جنگل تصادفی (RFR) تعدادی مدل ضعیف را به صورت مستقل آموزش می‌دهد و سپس نتایج مدل‌ها ترکیب می‌شوند تا یک مدل قوی‌تر و بهتر بسازند. پیش‌بینی نهایی برای ورودی مبتنی بر میانگین یا میانگین وزنی پیش‌بینی‌های تک‌تک مدل‌های ضعیف مثلاً درخت تصمیم است. این روش قابلیت تعمیم بالایی دارد و در مواجهه با داده‌های جدید نیز عملکرد خوبی دارد. در جنگل تصادفی درخت‌های تصمیم زیادی تولید می‌شود (Davodalmosavi et al., 2023).

1 Net Revenue

2 Benefit/Cost Ratio

3 Economic Productivity

الگوریتم تقویت‌کننده گرادیان پیشرفته (XGBR) یکی از روش‌های پیشرفته یادگیری گروهی است که می‌تواند چندین مدل پیش‌بینی را برای ساخت آنها ترکیب کند. عملکرد بهتر مدل جدید می‌تواند باتوجه‌به خطای پیش‌بینی‌های مجموعه مالی از مدل‌های ضعیف و پایه قبلی ساخته شود. این مدل به طور گسترده در مسائل یادگیری ماشین استفاده می‌شود، زیرا توانایی بالایی در مدیریت انواع داده‌ها و کشف روابط پیچیده دارد (Fahim, Vaezi, Shahraki, & Khoshnevisan, 2022).

در این پژوهش ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد داده‌ها برای آزمایش مدل به صورت تصادفی در نظر گرفته شده است، سپس با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون الگوریتم‌های گرادیان تقویت شده، جنگل تصادفی و گرادیان تقویت‌شده پیشرفته به صورت انفرادی آموزش داده شد. سپس برای محاسبه عملکرد مدل و مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف با هم چهار پارامتر شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و جذر میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) با استفاده از روابط (۸) تا (۱۰) محاسبه شدند (Sadr & Islami., 2021).

$$R^2 = \frac{\sum(t - \bar{t})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(t - \bar{t})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad \text{رابطه ۸}$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum(y - t)^2}{N} \right]^{1/2} \quad \text{رابطه ۹}$$

$$RRMSE = \frac{RMSE}{\bar{t}} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

که در این روابط، t مقادیر مشاهداتی و $\bar{t}$ میانگین مقادیر مشاهداتی، y مقادیر تخمین زده‌شده و $\bar{y}$ میانگین مقادیر تخمین زده‌شده و N تعداد مشاهدات است.

هایپرپارامتر

هایپرپارامترها یا فراپارامترها، پارامترهایی هستند که مقادیر آنها فرایند یادگیری را کنترل می‌کند و مقادیر پارامترهای مدلی را تعیین می‌کند که یک الگوریتم یادگیری به یادگیری آنها ختم می‌شود. قبل از آموزش باید هایپرپارامترها مشخص شوند. از هایپرپارامترها برای کنترل فرایند آموزش و یادگیری استفاده می‌شود.

در پایتون با استفاده از کتابخانه‌ها، هایپرپارامترهای پیش‌فرضی برای هر مدل در نظر گرفته می‌شود. مدل ساخته می‌شود و عملکرد آن بررسی می‌شود. سپس مقادیر هایپرپارامترها تغییر داده و دوباره مدل آموزش داده می‌شود و عملکرد با نسخه قبلی مقایسه می‌شود. این فرایند تا جایی که بهترین مقادیر برای هر هایپرپارامتر پیدا شود تکرار می‌شود.

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت به منظور توضیح و ارزیابی اهمیت پارامترهای ورودی بر خروجی و اندازه‌گیری تأثیرات ورودی‌ها بر خروجی انجام شده است. تحلیل حساسیت در این پژوهش با استفاده از روش SHAP انجام شد. در روش SHAP میانگین سهم هر پارامتر ورودی را در خروجی مبتنی بر تئوری باز نشان می‌دهد. علاوه بر اهمیت مقدار SHAP، این روش می‌تواند نشان دهد که چگونه هر پارامتر ورودی (منفی یا مثبت) روی متغیر خروجی اثر می‌گذارد. روش کار SHAP این‌گونه است که ورودی را کمی تغییر می‌دهد و تغییرات را در پیش‌بینی آزمایش می‌کند، اگر پیش‌بینی مدل با تغییر جزئی مقدار ورودی برای یک ویژگی تغییر چندانی نداشته باشد، آن ویژگی برای آن نقطه داده خاص ممکن است پیش‌بینی‌کننده مهمی نباشد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل انرژی

جدول (۲) میانگین انرژی نهاده‌های مصرف‌شده و ستانده تولیدی که با استفاده از ضرایب انرژی مربوطه به دست آمد است را نشان می‌دهد. ستانده محصول خروجی و نهاده‌های ورودی میزان استفاده از انواع کودها و سموم شیمیایی و نهاده‌های دیگر مورد مطالعه بوده است. میزان

کل انرژی مصرفی در تولید گل محمدی ۴۳۴۳۸/۸۳ مگاژول بر هکتار به دست آمد. طبق اطلاعات جدول (۲) سهم هر نهاده متفاوت بود و انرژی برق با حدود ۷۹/۶۰ درصد از کل انرژی مصرفی بیشترین سهم از مصرف انرژی است. انرژی برق در سیستم آبیاری تحت فشار و الکتروپمپها مصرف می‌شود. کودشیمیایی نیتروژن با ۹/۹۲ درصد در رده دوم بیشترین انرژیهای مصرفی قرار دارد. پهلوان و همکاران در پژوهشی مقدار کل انرژی مصرفی برای گل رز را ۶۷۰۰۰ مگاژول بر هکتار به دست آوردند (Pahlavan, Omid, Rafiee, & Mousavi-Avval, 2012).

جدول ۲. نهاده‌های ورودی و انرژی آنها

عنوان	واحد	مقادیر (unit/h)	انرژی (MJ/h)	درصد
الف) نهاده‌ها				
نیروی انسانی	h	۱۶۱/۳۵	۳۱۶/۲۶	۰/۹۱
کود حیوانی	Kg	۶۳۱۵/۳۹	۱۸۹۴/۶۱	۴/۳۶
حشره‌کش	kg	۵/۷۵	۱۱۴۴/۲۵	۲/۶۳
نیتروژن	kg	۶۵/۱۷	۴۳۱۰/۹۱	۹/۹۲
فسفات	kg	۷۶/۶۷	۹۵۳/۸۸	۲/۱۹
پتاس	kg	۳۵/۶۹	۲۳۹/۱۶	۰/۵۵
برق	KW.h	۲۸۹۸/۵۵	۳۴۵۷۹/۷۴	۷۹/۶
ب) ستانده‌ها				
گل محمدی	kg	۹۲۰/۱۹	۳۸۶۴/۸۲۵	۱۰۰

باتوجه به روابط مربوطه و انرژیهای ورودی و خروجی شاخصهای نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی، و افزوده خالص انرژی محاسبه شدند که نتایج در جدول (۳) آورده شده است. مقادیر این شاخصها به ترتیب ۰/۰۸، ۰/۰۲ کیلوگرم بر مگاژول، ۴۷/۲۰ مگاژول بر کیلوگرم و انرژی خالص برابر ۳۹۵۷۴- مگاژول به دست آمد. مقدار انرژی خالص منفی نشان‌دهنده انرژی بر بودن تولید و انرژی کم محصول است (اسفنجاری کناری و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه‌ای مشابه در ترکیه کل انرژی مصرفی ۲۹۳۱۳/۱۲ مگاژول در هکتار و نسبت انرژی ۰/۷۲، شدت انرژی برابر با ۵/۸۱ مگاژول بر هکتار و بهره‌وری انرژی برابر با ۰/۱۷ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شده است (Akbolat et al., 2006).

جدول ۳. مقادیر شاخصهای انرژی

عنوان (واحد)	مقدار
نسبت انرژی (بدون بعد)	۰/۰۸
بهره‌وری انرژی (kg/MJ)	۰/۰۲۰
شدت انرژی (MJ/kg)	۴۷/۲۰
افزوده خالص انرژی (MJ)	-۳۹۵۷۴

شکل‌های انرژی

انواع و مقادیر اشکال انرژی برای این مطالعه در جدول (۴) آمده است. انرژیهای تجدیدناپذیر ۹۴/۹۱ درصد و انرژی غیرمستقیم ۱۹/۶۶ درصد از کل انرژی مصرفی را تشکیل می‌دهد در پژوهشی انرژی مصرف تجدیدپذیر برای تولید نعنای ۶۲ درصد و انرژی مستقیم برابر با ۹۵ درصد به دست آمد (Kushwaha et al., 2024). در پژوهشی درصد تجدیدپذیری نظامهای مکانیزه و سنتی گل محمدی به ترتیب ۲/۷۴ و ۳/۱۴ درصد محاسبه شد (Nakhaei et al., 2025).

جدول ۴. شکل‌های مختلف انرژی در تولید گل محمدی

انواع	مقدار (MJ)	درصد
انرژیهای تجدیدپذیر	۲۲۱۰/۸۷	۵/۲۷
انرژیهای تجدیدناپذیر	۴۱۲۲۷/۹۵	۹۴/۹۱
انرژیهای مستقیم	۳۴۸۹۶	۸۰/۵۲
انرژیهای غیرمستقیم	۸۵۴۲/۸۲	۱۹/۶۶

تحلیل اقتصادی

جدول (۵) مقادیر هزینه‌های نهاده‌های مصرفی در تولید گل محمدی و درصد هزینه هر یک از نهاده‌ها را در واحد سطح نشان می‌دهد. هم‌چنان‌که مشاهده می‌شود، کود حیوانی با سهمی معادل ۳۳/۱۵ درصد با مقدار ۱۵/۷۸۸ میلیون تومان بر هکتار و نیروی انسانی با سهمی معادل ۲۹/۴۷ درصد و مقدار ۱۴/۰۳۸ میلیون تومان بر هکتار از کل هزینه‌ها بیشترین قسمت هزینه‌های تولید محصول را شامل می‌شود. بعد از کود حیوانی و نیروی انسانی، حشره کش و آب برای آبیاری هر کدام به ترتیب با سهم ۱۴/۸۵ و ۶/۱۷ درصد و مقدار ۷۰۷۲/۵ و ۲/۹۴۲ میلیون تومان بر هکتار در رده‌های بعدی هزینه‌های تولید قرار دارند. مطالعه‌ای مشابه برای تولید گل رز در بنگلادش انجام شد. نتایج نشان داد که نیروی انسانی و کود با ۲۲ درصد، آبیاری ۶ درصد و حشره کش با سهم ۱۲ درصد بیشترین سهم از هزینه‌های تولید را شامل شده‌اند (Zaman et al., 2013).

جدول ۵. کل هزینه‌های تولید گل محمدی

عنوان	هزار تومان بر هکتار	درصد
الف) نهاده‌ها		
نیروی انسانی	۱۴۰۳۸/۰۷	۲۹/۴۷
کود حیوانی	۱۵۷۸۸/۴۸	۳۳/۱۵
حشره کش	۷۰۷۲/۵	۱۴/۸۵
نیترژن	۵۳۱/۴۲	۱/۰۹
فسفات	۱۲۲۶/۸۵	۲/۵۷
پتاس	۵۷۹/۷۱	۱/۲۱
آب برای آبیاری	۲۹۴۲/۰۱	۶/۱۷
برق	۱۷۳/۹۱	۰/۳۶
زمین	۲۰۵۲/۷۹	۴/۳۱

در تولید گل محمدی، هزینه‌های بالای نیروی انسانی به عنوان یکی از چالش‌های اصلی مطرح است که ریشه در طبیعت سنتی و غیر مکانیزه کشت گل محمدی دارد. فرایندهای پیچیده پس از برداشت و عدم استفاده از تجهیزات مدرن و مکانیزه از جمله دلایل اصلی افزایش هزینه‌ها هستند. بنابراین برای کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری، ضروری است که به مکانیزه‌سازی فرایندها، آموزش نیروی کار و بهبود زیرساخت‌های مرتبط پرداخته شود (Berg., 1996). در پژوهشی مشابه در هلند نیروی انسانی تقریباً ۵۰ درصد از کل هزینه‌های تولید گل رز را شامل شده است (Cola et al., 2020). نتایج مطالعه‌ای مشابه در هند نشان داد که هزینه نیروی انسانی بیشترین سهم از کل هزینه‌های تولید گل محمدی را شامل شده است (Makadia et al., 2012). نتایج حاصل از مطالعه‌ای در مورد تجزیه تحلیل انرژی و اقتصادی آلبو در ایران نیز نشان داد که بیشترین سهم هزینه‌ها مربوط به نهاده نیروی کارگری است (Vahid-Berimanlou & Nadi, 2021).

جدول (۵) نشان می‌دهد که نهاده برق سهم کمی از هزینه‌ها (۰/۳۶ درصد) را شامل می‌شود زیرا نهاده برق کشاورزی دارای سوبسید است که از سوی دولت به کشاورزان پرداخت می‌شود. یارانه‌های کشاورزی می‌توانند نقش مهمی در افزایش تولید پایدار داشته باشند. اما از طرفی این یارانه‌ها می‌توانند دلیل در اولویت قرار نگرفتن بهینه سازی انرژی در کشاورزی باشند بنابراین پیشنهاد می‌شود که دولت این یارانه‌ها را در حمایت کشاورزان برای استفاده از فناوری های مدرن با مصرف بهینه انرژی به ویژه در سیستم‌های آبیاری لحاظ کند. کل هزینه‌های تولید گل محمدی برابر ۴۴/۳۹۵ میلیون تومان در هکتار به دست آمد. جدول (۶) شاخص‌های اقتصادی را در تولید محصول مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که سود خالص برای گل محمدی برابر با ۴۷/۶۲۳ میلیون تومان محاسبه شد. شاخص بهره‌وری اقتصادی تولید گل محمدی برابر با ۰/۰۲ کیلوگرم بر هزار تومان است به این معنا که به ازای هر ۱۰۰۰ تومان هزینه، تنها ۰/۰۲ کیلوگرم گل محمدی تولید شده است این عدد پایین نشان می‌دهد که هزینه تولید بسیار بالا است اما با توجه به اینکه شاخص نسبت فایده به هزینه برابر با ۲/۰۷ به دست آمد می‌توان دریافت که قیمت فروش محصول به اندازه‌ای زیاد است که سود آوری را تضمین می‌کند. در تحقیقی در هند نسبت سود به هزینه برای تولید دو گل رز و ژربرا به ترتیب ۱/۶۱ و ۱/۸۵ به دست آمد. نتایج نشان داد که

تولید این دو گل سود اقتصادی کافی برای تولید کنندگان این گل‌ها داشته است (Tiwari et al., 2020).

جدول ۶. مقادیر شاخص‌های اقتصادی در تولید گل محمدی

نام شاخص (واحد)	مقدار شاخص
سود ناخالص (1000T/ha)	۹۲۰۱۹/۶۴
سود خالص (1000T/ha)	۴۷۶۲۳/۸۷
نسبت فایده به هزینه (بدون بعد)	۲/۰۷
بهره‌وری اقتصادی kg/1000T	۰/۰۲

مطالعه‌ای در پاکستان به منظور تحلیل اقتصادی گل رز انجام شد نتایج نشان داد که نسبت سود به هزینه برای کشاورزان کوچک ۲/۸۴، برای کشاورزان متوسط ۲/۲۳ و برای کشاورزان بزرگ ۲/۵۷ به دست آمد (Usman et al., 2014). مطالعه‌ای در استان اصفهان به منظور تحلیل اقتصادی تولید محصول گلرنگ تابستانه انجام شد نتایج نشان داد که نسبت سود به هزینه برابر با ۱/۰۹ است (زاهدی و همکاران، ۱۳۹۳). در مطالعه‌ای سیستم‌های تولید زعفران و گندم با توجه به تعادل انرژی در استان خراسان رضوی، ایران، ارزیابی شدند نتایج نشان داد که نسبت سود به هزینه برای سیستم‌های تولید زعفران و گندم به ترتیب ۲/۷۸ و ۲/۱۷ بود. تولید زعفران کارآمدتر و پایدارتر از گندم بود (Sahabi et al., 2016).

مدل‌سازی و ارزیابی پیش‌بینی بهره‌وری انرژی و اقتصادی با یادگیری ماشین

در پژوهش حاضر، جهت پیش‌بینی بهینه انرژی و هزینه‌های تولید در فرایند تولید گل محمدی، ارزیابی جامعی بر روی طیف وسیعی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین انجام شد. در میان مدل‌های موردبررسی الگوریتم‌های GBR، XGBR و RFR به عنوان کارآمدترین مدل‌ها از نظر دقت پیش‌بینی و توانایی تعمیم‌پذیری شناسایی شدند. این الگوریتم‌ها با دانستن مقادیر نهاده‌های ورودی، انرژی و هزینه‌های تولید را با بهترین دقت پیش‌بینی می‌کند.

چنانچه در جدول (۷) مشاهده می‌شود برای انرژی به ترتیب GBR، XGBR و RFR با مقدار R^2 ، ۰/۹۹، ۰/۹۷ و ۰/۹۲ و در جدول (۸) برای مدل اقتصادی با مقدار R^2 ، ۰/۹۹، ۰/۹۶ و ۰/۸۸ بهترین مدل‌ها بودند. در پژوهش مصطفی پور و همکاران از یادگیری ماشین برای پیش‌بینی انرژی در تولید محصول گندم استفاده شد. جذر مربعات خطا برای روش ELM ۰/۰۸۹ به دست آمد (Mostafaeipour, 2020) و در مطالعه‌ای دیگر برای پیش‌بینی محصول گندم با یادگیری ماشین در استرالیا RMSE، ۰/۵۵ و R^2 نیز ۰/۷۷ به دست آمد (Kamir et al., 2020).

جدول ۷. خصوصیات بهترین مدل‌های یادگیری ماشین تحلیل انرژی

شاخص تخمینی	نوع مدل	R^2			RRMSE			RMSE	
		آموزش	آزمون	کل	آموزش	آزمون	کل	آموزش	آزمون
انرژی	GBR	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵	۴۸/۹۸	۵۴۹/۹۳
	RFR	۰/۹۸	۰/۶۵	۰/۹۲	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۱	۳۲۹/۲۲	۱۳۵۹/۲۹
	XGBR	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۷	-۰/۰۰۲	-۰/۰۲۲	-۰/۰۰۱	۱۰۲۱/۴۸	۱۲۴/۹۵

جدول ۸. خصوصیات بهترین مدل‌های یادگیری ماشین تحلیل اقتصادی

شاخص تخمینی	نوع مدل	R^2			RRMSE			RMSE	
		آموزش	آزمون	کل	آموزش	آزمون	کل	آموزش	آزمون
اقتصادی	GBR	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۰۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱۷	۷۱۵	۸۴۰/۹۰
	RFR	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۰۴۹	۰/۰۴۳	۰/۰۵۴	۲۳۰۲/۶۹	۱۹۳۸/۸۱
	XGBR	۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۹۶	۰/۰۲۵	۰/۰۴۰	۰/۰۳۳	۱۱۸۲/۲۰	۱۹۵۱/۸۹



هایپرپارامتر

هایپرپارامترها در اصل باعث افزایش کیفیت و سرعت فرایند یادگیری می‌شوند و مقادیر آن‌ها تأثیری بر عملکرد مدل ندارند. هایپرپارامتر بهترین مدل‌ها در جدول (۹)، جدول (۱۰) و جدول (۱۱) آمده است. با این مقادیر هایپرپارامتر، مدل‌ها بهترین عملکرد را داشته‌اند.

جدول ۹. هایپرپارامتر مدل GBR

Hyperparameter	اقتصادی	انرژی
learning_rate	۰/۰۱	۰/۰۱
max_depth	۴	۴
n_estimators	۵۰۰	۵۰۰
subsample	۰/۵	۰/۵

جدول ۱۰. هایپرپارامتر مدل XGBR

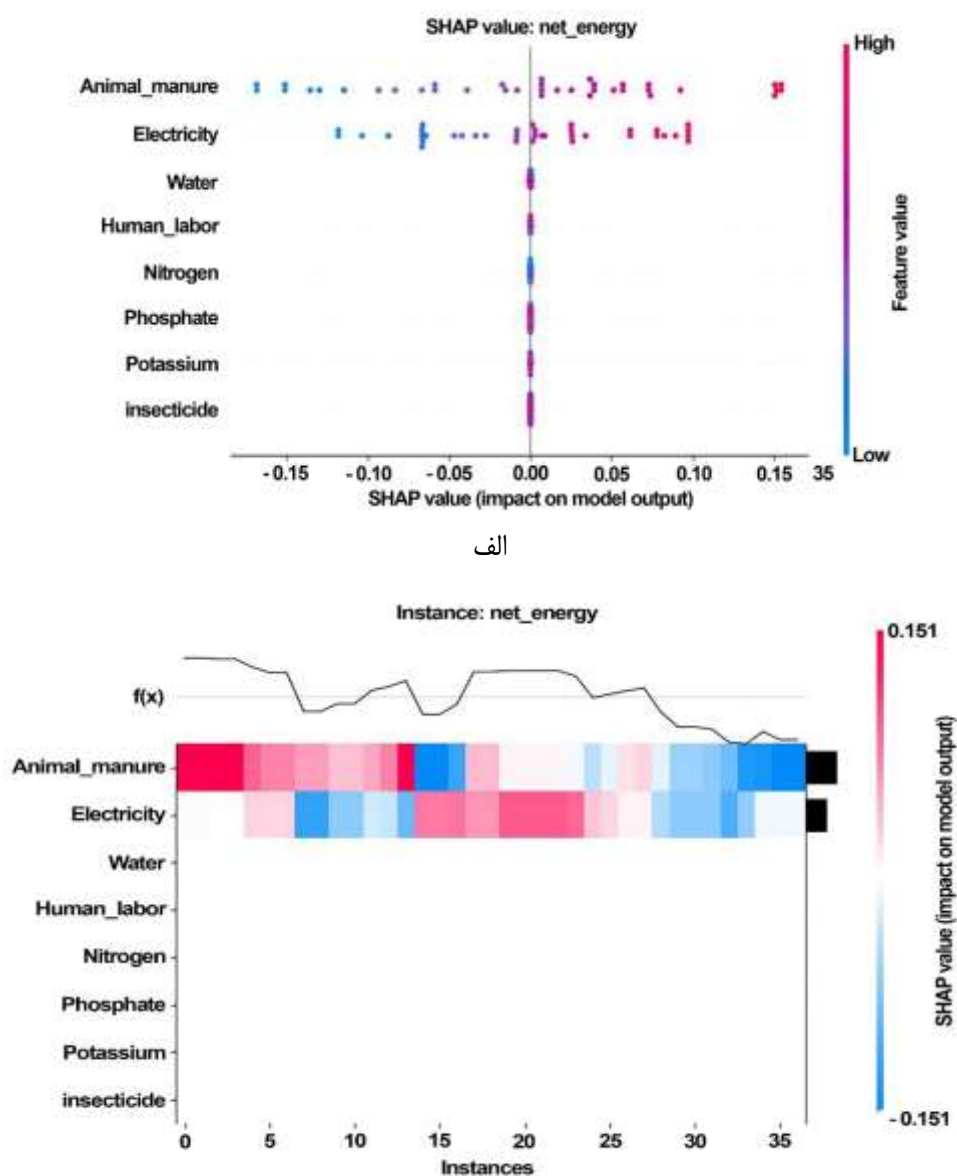
Hyperparameter	اقتصادی	انرژی
learning_rate	۰/۰۱	۰/۰۱
max_depth	۴	۷
n_estimators	۵۰۰	۵۰۰
subsample	۰/۵	۰/۵

جدول ۱۱. هایپرپارامتر مدل RFR

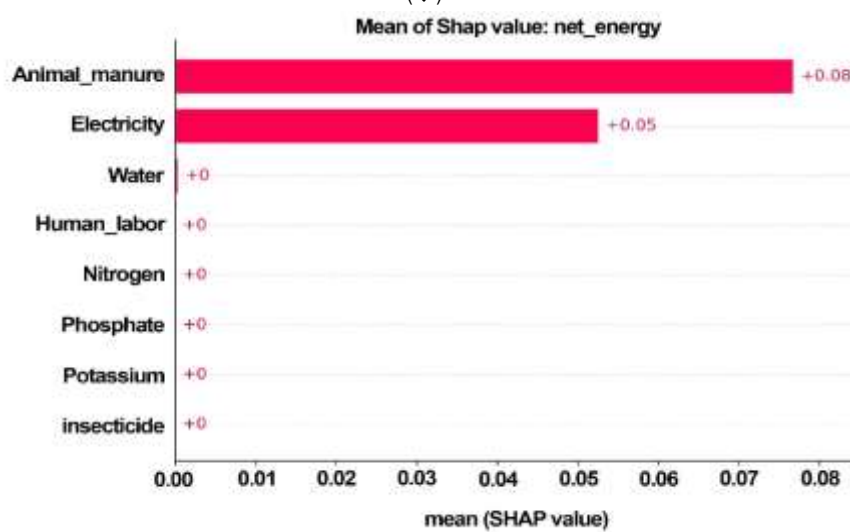
Hyperparameter	اقتصادی	انرژی
bootstrap	true	true
max_depth	۶۰	۶۰
max_features	۴	۴
min_samples_leaf	۲	۲
min_samples_split	۲	۲
n_estimators	۱۰۰	۱۰۰

تحلیل حساسیت

تأثیرگذارترین پارامترها در مصرف انرژی در تولید گل محمدی در شکل (۱) نشان داده شده است. تأثیرگذارترین پارامترها در مصرف انرژی کود حیوانی و برق هستند و پارامتری که کمترین تأثیر را بر روی عملکرد داشته است حشره‌کش‌ها هستند. در شکل (۱) نمودار نمودار (الف) نمودار حرارتی مدل انرژی تولید است که رنگ آبی به معنای بخش اثرگذار در پارامتر خروجی است و رنگ قرمز به عنوان بخش بی‌تأثیر پارامتر است. هرچه این رنگ‌ها پررنگ‌تر باشند شدت اثر آن بیشتر بوده و برعکس و نمودار (ب) و نمودار (ت) شدت تأثیر گذاری هر پارامتر را نشان می‌دهد. همچنین در شکل (۲) نمودار قسمت (ج) نمودار حرارتی مدل اقتصادی در تولید گل محمدی را نشان می‌دهد و نمودار (د) و (ه) شدت تأثیر گذاری هر پارامتر را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودارها می‌توان دریافت که مهم‌ترین پارامتر در تحلیل اقتصادی و سود دهی به ترتیب آب برای آبیاری، برق و کودها هستند. به دین معنا که برای بیشتر کردن سود باید به این پارامترها در مدیریت مزرعه توجه بیشتری کرد و می‌توان با مدیریت و کم کردن هزینه این پارامترها به سود دهی بیشتری رسید به عبارت دیگر تغییر کوچکی در این پارامترها تأثیر زیادی در میزان هزینه و سود دهی دارد.

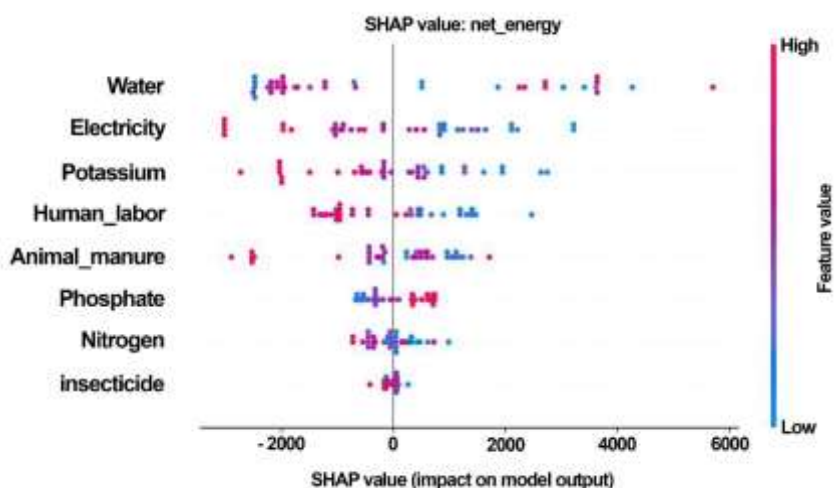


(ب)

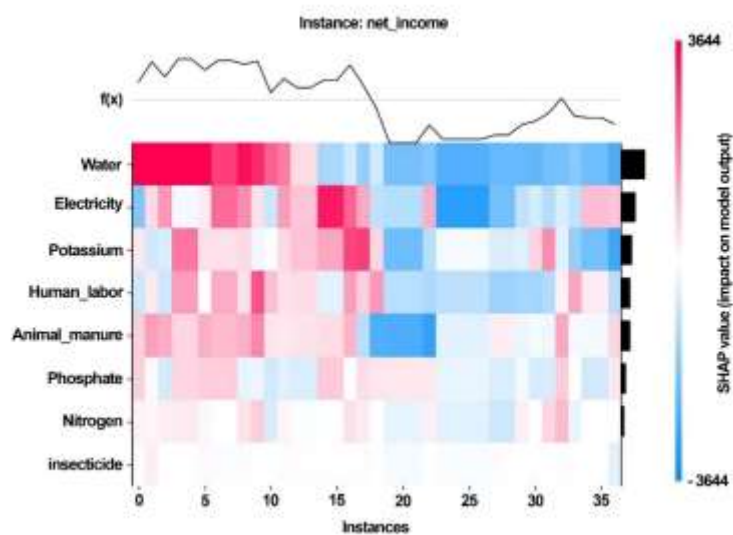


(ت)

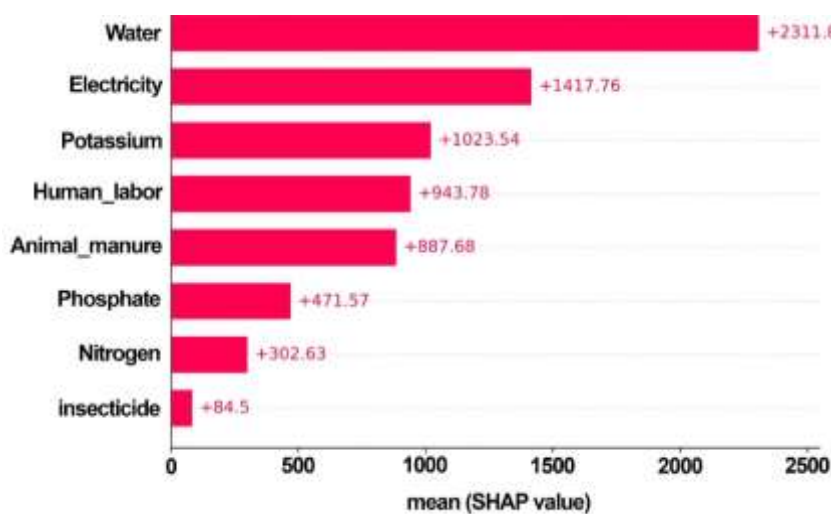
شکل ۱. مقدار SHAP نشان‌دهنده اثرات ویژگی‌های ورودی در هر خروجی در مدل‌سازی انرژی تولید گل محمدی



(ج)



(د)



(ه)

شکل ۲. مقدار SHAP نشان‌دهنده اثرات ویژگی‌های ورودی در هر خروجی در مدل‌سازی اقتصادی تولید گل محمدی

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کل انرژی مصرفی در طول مراحل تولید گل محمدی ۴۳۷۷۰/۴۱ مگاژول بر هکتار بود که از بین نهاده‌های مصرف‌شده، برق با سهم ۷۹/۶۳ درصدی از کل انرژی‌های مصرفی، پرمصرف‌ترین نهاده انرژی بود. افزوده خالص انرژی تولید برابر ۳۹۸۸۱/۷- شد و نسبت فایده به هزینه ۲/۱ نشان می‌دهد که به‌ازای هر ۱۰۰۰ تومان هزینه ۲۱۰۰ تومان درآمد حاصل شده است. این یعنی برای تولید گل محمدی انرژی اتلاف می‌شود؛ اما با این حال صرفه اقتصادی دارد دلیل این تناقض ارزش بالای گل محمدی و یارانه‌های انرژی است که هزینه تولید را کاهش می‌دهد. نتیجه تحلیل اقتصادی نشان داد که تولید گل محمدی مانند دیگر گیاهان دارویی نظیر زعفران دارای جایگاه با ارزشی است. در این پژوهش رویکردی جدید برای پیش‌بینی و مدل‌سازی انرژی و مدل‌سازی اقتصادی در تولید گل محمدی ارائه شد. مدل‌ها مبتنی بر روش‌های یادگیری ماشین ساخته و ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که عملکرد مدل‌ها با الگوریتم‌های GBR، XGBR و RFR قابل قبول است و می‌توان از روش‌های یادگیری ماشین و الگوریتم‌های یادگیری برای پیش‌بینی انرژی و تحلیل اقتصادی استفاده کرد.

نتایج تحلیل حساسیت انرژی بیانگر آن بود که کودهای حیوانی و برق بیشترین تأثیر را در تولید دارد پس می‌توان با استفاده مناسب و بهینه از کود و برق مصرفی در فرایند آبیاری مصرف انرژی را کاهش داد. برای کاهش این انرژی می‌توان از مهندسين مشاور آبیاری جهت احداث سامانه آبیاری مکانیزه کمک گرفت تا قدرت الکتروپمپ را متناسب با میزان آب برداشتی موردنیاز مزرعه و باتوجه‌به عمق چاه انتخاب کنند تا بدین‌وسیله از هدررفت انرژی جلوگیری شود.

منابع

- آمارنامه کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی ایران. (۱۴۰۱). <http://www.maj.ir/>
- اسفنجاری کناری، شعبان‌زاده، جانشوز، پرنیز و امید. (۱۳۹۴). بررسی کارایی مصرف انرژی در گلخانه‌های تولید خیار استان تهران. مهندسی بیوسیستم/ایران، 46(2), 125-134.
- حسینی، ناصر، و توکلی دینانی، الهام. (۱۳۸۹). بررسی کارایی نهاده‌ها در زراعت گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens* L.) در منطقه رودهن. *داروهای گیاهی*، ۱(۳)، ۵۷-۶۲. <https://sid.ir/paper/193768/fa> SID.
- خانعلی، مجید و حسین‌زاده بند باف‌ها، هما، (۱۳۹۶)، ارزیابی جریان انرژی و اثرات زیست‌محیطی تولید گلخانه‌ای گیاهان دارویی با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی مطالعه موردی گیاه آلوئه‌ورا، <https://civilica.com/doc/1660329>
- خوشخوی، مرتضی، صالحی، حسن، عزیزی، مجید، مبلی، مصطفی، وحدتی، کورش، گریگوریان، وازگین، تفضلی، عنایت‌الله و حقیقی، مریم. (۱۴۰۰). وضع موجود تولید محصول‌های باغبانی در ایران: یک بررسی اسنادی ۲- سبزی‌ها، گل‌ها، گیاهان زینتی و گیاهان دارویی. *مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، 2021.128743. doi: 10.22047/srjasnr.2021.128743, 69-84.
- رحیم‌زاده، سعیده، سهرابی، یوسف، حیدری، غلامرضا و پیرزاد، علیرضا. (۱۳۹۰). تأثیر کاربرد کودهای زیستی بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه دارویی بادرشو (*Dracocephalum moldavica* L.). *علوم باغبانی*.
- رحیمی، روح اله، گرجی خاک‌سپاری، عباس، عباس‌زاده، بهلول و عراقی، محمدکاظم. (۱۳۹۹). مقایسه شاخص‌های انرژی در تولید چهار گونه گیاه دارویی (نعناع فلفلی، ترخون، ریحان و مرزه زراعی). *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۶(۲)، ۱۸۳-۱۹۴.
- داودالموسوی، سید امید، رفیعی، شاهین، جعفری. (۱۴۰۲). تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی انرژی و میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در تولید سیب با به‌کارگیری یادگیری ماشین در شهرستان نظرآباد. *مکانیزاسیون کشاورزی*، 81-96, 8(4),
- زاهدی، مرتضی، عشقی‌زاده، حمیدرضا، و مندنی، فرزاد. (۱۳۹۳). ارزیابی کارایی مصرف انرژی و شاخص‌های اقتصادی در نظام تولید گلرنگ در استان اصفهان. *کشاورزی بوم‌شناختی*، ۴(۲)، ۴۵-۵۳.
- کشفی بناب علیرضا. (۱۳۹۸). مزیت نسبی اقتصادی کشت و تجارت گیاهان دارویی در ایران و ارزش آن در بازارهای جهانی.
- گودرزی، محمود، خلیفه‌زاده، رستم و افتخاری، علیرضا (۱۳۹۷)، غنای گونه‌ای استان سمنان از منظر گیاهان دارویی، *هفتمین کنفرانس ملی مرتع و مرتعداری ایران*.
- مرکز آمار ایران، داده‌های جغرافیایی و آب‌وهوایی استانی. (۱۴۰۱). <http://www.amar.org.ir/>
- منجری. نسیم، (۱۳۹۸). بررسی کارایی مصرف انرژی و آنالیز اقتصادی تولید انگور در باغات شهرستان کارون، *مجله ترویجی انگور*
- ملک، سعید و مشرف، لاله. (۱۴۰۰). تأثیر شرایط مختلف نگهداری بر خصوصیات کمی و کیفی اسانس گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.). *تحقیقات مهندسی صنایع غذایی*، 20(1), 69-78.



یاوری، جلال و جهان آرائیان، فاطمه، ۱۴۰۰، گیاهان دارویی و اهمیت تجاری سازی آنها، اولین همایش ملی گیاهان دارویی، کارآفرینی و تجاری سازی،
جیرفت، <https://civilica.com/doc/1353720>

REFERENCES

- Akbolat, D., Ekinci, K., & Demircan, V. (2006). Energy input-output and economic analysis of rose production in Turkey.
- Amirahmadi, E., Moudry, J., Konvalina, P., Hörtenhuber, S. J., Ghorbani, M., Neugschw&tner, R. W.,... & Kopecký, M. (2022). Environmental Life Cycle Assessment in Organic & Conventional Rice Farming Systems: Using a Cradle to Farm Gate Approach. *Sustainability*, 14(23), 15870.
- Anonymous. Department of Jihad-e-Agriculture of Iran. (2022). Annual agricultural statistics, From <http://www.maj.ir/> (In Persian)
- Anonymous. Statistical Center of Iran. (2022). The estimated population of each city, From <http://www.amar.org.ir>. (In Persian)
- Bahirat, J. B., & Jadhav, H. G. (2011). To study the cost, returns and profitability of rose production in Satara district, Maharashtra.
- Berg, G. V. D. (1996). Rose factories, fiction or future?.
- Cola, G., Mariani, L., Toscano, S., Romano, D., & Ferrante, A. (2020). Comparison of greenhouse energy requirements for rose cultivation in Europe and North Africa. *Agronomy*, 10(3), 422.
- consumption patterns and greenhouse gas emissions in irrigated wheat production in Ardabil province. *Quarterly Journal of Environmental Sciences* (In Persian)
- Davodalmosavi, S. O., Rafiee, S., & Jafari. (2024). Analysis and modeling of energy and greenhouse gas emissions in apple production using machine learning in Nazarabad County. *Agricultural Mechanization*, 8(4), 81-96. (In Persian)
- Davodalmosavi, S. O., Rafiee, S., & Jafari, A. (2023). Modeling of peach production energy using machine learning in Nazarabad township, Alborz province. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 54(1), 53-71.
- Elhami, B., Raini, M. G. N., Taki, M., Marzban, A., & Heidarisoltanabadi, M. (2021). Analysis & comparison of energy-economic-environmental cycle in two cultivation methods (seeding & transplanting) for onion production (case study: central parts of Iran). *Renewable Energy*, 178, 875-890
- Esfanjari Kenari, R., Shaabanzadeh, M., Jansooz, P. and Omid, A. (2015). Analysis energy consumption in greenhouse cucumber production (a case study in Tehran province). *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 46(2), 125-134. doi: 10.22059/ijbse.2015.55670 (In Persian)
- Fabiani, S., Vanino, S., Napoli, R., & Nino, P. (2020). Water energy food nexus approach for sustainability assessment at farm level: An experience from an intensive agricultural area in central Italy. *Environmental Science & Policy*, 104, 1-12.
- Godarzi, M, Khalifazadeh, R and Eftekhari, A. (2018), Species richness of Semnan province from the perspective of medicinal plants, *7th National Conference on Rangeland and Rangeland Management of Iran*. (In Persian)
- Heydari Sultanabadi. (2023). Determination of energy production function in water wheat of Isfahan province. *Energy Engineering and Management*, 11(1), 116-127.
- Hosseini, N, Tavakoli Dinani, E. (2010). Study of the efficiency of inputs in the cultivation of the medicinal plant dill (*Anethum graveolens* L.) in the Roudehen region. *Herbal Medicines*, 1(3), 57-62. SID. <https://sid.ir/paper/193768/fa> (In Persian)
- Kamir, E., Waldner, F., & Hochman, Z. (2020). Estimating wheat yields in Australia using climate records, satellite image time series and machine learning methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 160, 124-135.
- Kashfi Bonab, A. (2019). Comparative economic advantage of cultivation and trade of medicinal plants in Iran and its value in world markets (In Persian).
- Khanali, M, Hosseinzadeh Band-Bafha, H, (2017), Energy flow assessment and environmental impacts of greenhouse production of medicinal plants with a life cycle assessment approach, *case study of Aloe vera plant*, <https://civilica.com/doc/1660329> (In Persian)
- Khoshkho, M, Salehi, H, Azizi, M, Mobali, M, Vahdati, K, Grigorian, V, Tafazzoli, E and Haghighi, M. (1400). Current status of horticultural crop production in Iran: A documentary review 2- Vegetables, flowers, ornamental plants and medicinal plants. *Journal of Strategic Research in Agricultural Sciences*

- and Natural Resources, 6(1), 69-84. doi: 10.22047/srjasnr.2021.128743 (In Persian)
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., & Mousazadeh, H. (2013). Reduction of CO2 emission by improving energy use efficiency of greenhouse cucumber production using DEA approach. *Energy*, 55, 676-682.
- Makadia, J. J., Patel, K. S., & Ahir, N. J. (2012). Economics of production of the rose cut flowers in south Gujarat.
- Malek, Saeed and Musharraf, Laleh. (1400). The effect of different storage conditions on the quantitative and qualitative properties of rose essential oil (*Rosa damascena* Mill.). *Food Industry Engineering Research*, 20(1), 69-78. doi: 10.22092/fooder.2019.125321.1203 (In Persian)
- Monjezi, N., 2019. Investigation of energy consumption efficiency and economic analysis of grape production in the orchards of Karun County, Grape Extension Magazine. (In Persian)
- Mostafaeipour, A., Fakhrzad, M. B., Gharaat, S., Jahangiri, M., Dhanraj, J. A., B&, S. & Mosavi, A. (2020). Machine learning for prediction of energy in wheat production. *Agriculture*, 10(11), 517
- Nakhaei, F., Ghanbari, S. A., Asgharipour, M. R. and Seyedabadi, E. (2025). Evaluating the Sustainability of the Mechanized and Traditional Agroecosystem of Damask Rose Production Based on Emergy Analysis in Nehbandan. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 35(1), 237-253. doi: 10.22034/saps.2023.56810.3050
- Pourmehdi, K., & Kheiralipour, K. (2024). Net energy gain efficiency, a new indicator to analyze energy systems, case study: Comparing wheat production systems. *Results in Engineering*, 22, 102211.
- Rafiee, S., Avval, S. H. M., & Mohammadi, A. (2010). Modeling & sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy*, 35(8), 3301-3306.
- Rahimi, Ruhollah, Gorji Khakspari, Abbas, Abbaszadeh, Bahloul and Araghi, Mohammad Kazem. (2019). Comparison of energy indices in the production of four medicinal plant species (peppermint, tarragon, basil and savory). *Iranian Medicinal and Aromatic Plant Research*, 36(2), 183-194. (In Persian)
- Rahimzadeh, Saeideh, Sohrabi, Yousef, Heidari, Gholamreza and Pirzad, Alireza. (2011). The effect of biofertilizer application on some morphological traits and yield of the medicinal plant *Dracocephalum moldavica* L. *Horticultural Sciences*. (In Persian)
- Sadr, & Islami. (2021). Climatic adjustments on pistachio yield using C&R decision tree algorithm 20.1001. 1.23453419. 1400.9. 1.6. 3. *Agricultural Meteorology*, 9(1), 53-62.
- Sahabi, H., Feizi, H., & Karbasi, A. (2016). Is saffron more energy and economic efficient than wheat in crop rotation systems in northeast Iran?. *Sustainable Production and Consumption*, 5, 29-35.
- Sujatha, S., & Tejaswini, P. (2021). Integrated analysis of energy and resource use indicators in rose production systems in open-field and protected condition in India. *Cleaner Environmental Systems*, 3, 100051.
- Tiwari, Y., Awasthi, P. K., & Pandey, P. R. (2020). Economic Analysis of Cut Flower (Rose and Gerbera) Production under Polyhouse in Jabalpur District of Madhya Pradesh, India. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 37(4), 1-5.
- Usman, M., Ashfaq, M., Taj, S., & Abid, M. (2014). An economic analysis of cut-rose flower in Punjab, Pakistan. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 24(2).
- Vahid-Berimanlou, R., & Nadi, F. (2021). Investigating the energy consumption and economic indices for sweet-cherry and sour-cherry production in Northeastern Iran. *Journal of Agricultural Machinery*, 11(1), 97-110.
- Yavari, Jalal and Jahanaraian, Fatemeh, 1400, Medicinal Plants and the Importance of Their Commercialization, First National Conference on Medicinal Plants, Entrepreneurship and Commercialization, Jiroft, <https://civilica.com/doc/1353720>. (In Persian)
- Zahedi, Morteza, Eshghizadeh, Hamidreza, and Mandani, Farzad. (2014). Evaluation of energy consumption efficiency and economic indicators in the safflower production system in Isfahan province. *Ecological Agriculture*, 4(2), 45-53. (In Persian)
- ZAMAN, D. (2013). Economic analysis of rose cultivation in some selected areas of Jessore District in Bangladesh (Doctoral dissertation, DEPT. OF AGRICULTURAL ECONOMICS).
- Fahim, P., Vaezi, N., Shahraki, A., & Khoshnevisan, M. (2022). An integration of genetic feature selector, histogram-based outlier score, and deep learning for wind turbine power prediction. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44(4), 9342-9365.
- Imran, M., & Ozcatalbas, O. (2021). Optimization of energy consumption and its effect on the energy use efficiency and greenhouse gas emissions of wheat production in Turkey. *Discover Sustainability*, 2(1), 28.



- khoobbakht, g., & Akram, A. (2020). Investigating the Pattern of Energy Consumption, Sensitivity Analysis and Economic Performance of Plum Production in Khansar Township, Isfahan, Iran. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 51(2), 263-272. doi:10.22059/ijbse.2020.278816.665175
- Kushwaha, A., Wasnik, K., Kumar, D., Pandey, M., Nannaware, A. D., & Verma, R. K. (2024). On-farm energy input-output and economic analysis of important essential oil-bearing Mint species in subtropical India. *Energy Conversion and Management: X*, 23, 100617.
- Mirzaei, J., Parashkoohi, M. G., Zamani, D. M., & Afshari, H. (2023). Examining energy use efficiency and conducting an environmental life cycle assessment through the application of artificial intelligence: A case study on the production of cumin and fennel. *Results in Engineering*, 20, 101522.
- Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., & Mohammadi, A. (2011). Optimization of energy consumption and input costs for apple production in Iran using data envelopment analysis. *Energy*, 36(2), 909-916.
- Pahlavan, R., Omid, M., Rafiee, S., & Mousavi-Avval, S. H. (2012). Optimization of energy consumption for rose production in Iran. *Energy for sustainable development*, 16(2), 236-241.
- Rahimi, R., Chakespari, A. G., Abaszadeh, B., & Araghi, M. (2020). Energy indices comparison in four medicinal herbs production (*Mentha piperita* L., *Artemisia dracunculus* L., *Ocimum basilicum* L. and *Satureja hortensis* L.).
- Roscher, R., Bohn, B., Duarte, M. F., & Garcke, J. (2020). Explainable machine learning for scientific insights and discoveries. *Ieee Access*, 8, 42200-42216.
- Salmerón-Manzano, E., Garrido-Cardenas, J. A., & Manzano-Agugliaro, F. (2020). Worldwide research trends on medicinal plants. *International journal of environmental research and public health*, 17(10), 3376.